

一端開の金属製風琴管の一側孔の補正

杉 原 雅・三村 泰 一 郎

The correction of a side hole of a metal flue organ pipe opened at one end.

MIYABI SUGIHARA and TAICHIRO MIMURA

I 概 要

一端開の金属製風琴管に種々の直径を有する一個の側孔を、吹口から種々の距離に設けた場合、管内の音の定常波の腹は吹口及び側孔の外まではみ出る。吹口と管端との距離を一定にして側孔の位置を吹口から種々の距離に変えた場合に、側孔から管端の方に向って定常波がはみ出る量につきその補正係数は、原音を発して居る時、側孔が大きい程小さく、吹口と側孔との距離（之を管長と呼ぶ）が大きい程小さい。補正係数を C 、管長を l とすればその間に $C = \frac{k}{lm}$ の関係がある。但し k と m は或常数である。一般に側孔が小さく吹込む気流の圧力が大きい場合は2倍音が出る。此場合も補正係数は側孔が大きい程小さく又管長が大きい程小さい。2倍音の場合は原音の場合よりも補正係数が大きく、補正係数と管長との間には直線関係がある。即ち $C = a - bl$ 但し a, b は或常数である。

II 実験方法

タンクに満たした圧力空気により風琴管を鳴らしその振動数をオシロスコープにより測定した。詳細は西京大学学術報告第2巻第3号を見られたい。振動数測定時の気温 θ を測り 0°C に於ける音速 $331 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ に $0.6\theta \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ を加えて測定時の音速とし、この音速と振動数とから波長 λ を算出した。本実験に於ては吹口の下端から側孔の中心までを管長 l とした。原音の場合は $\frac{\lambda}{2}$ が定常波の相隣る2個の腹の間の距離であって、此腹の部分は吹口の外へも又側孔から管端の方へもはみ出て居る。(Fig. 3 参照) 依て両方へはみ出て居る量を合せたものは $\frac{\lambda}{2} - l$ である。此量から吹口から腹が外へはみ出て居る量を引去れば側孔から管端の方へ腹がはみ出た量となる。吹口から腹が外へはみ出て居る量は一端開の風琴管の吹口補正が此実験の場合にも当饒るものと仮定して計算した。西京大学学術報告第2巻第3号3頁に記された論文で

Table II にある吹口の補正係数 C と圧力 p との関係式 $C = \frac{K}{p^n}$ に於て K と n とは管長に余り関係していないようであるから、 K と n との夫々の平均値即ち 6.11 及び 0.38 を用いて種々の p につき C を計算した。本実験に用いた風琴管の直径は 3cm であるから、 C に半径 1.5cm を乗じたものを定常波の腹が吹口から外へはみ出た量とした。又2倍音の場合は原音の場合の $\frac{\lambda}{2} - l$ の代りに $\lambda - l$ を用いた。此場合も K, n の平均値即ち夫々 7.65 と 0.54 を用いた。原音及2倍音につき吹口から外へ腹がはみ出た量を計算した結果を Table 1 に

Table 1

| 圧 力 p (水 柱) cm | 吹 口 補 正 量 cm | |
|---------------------|--------------|-------|
| | 原 音 | 2 倍 音 |
| 2.3 | 6.68 | 7.32 |
| 3.2 | 5.89 | 6.12 |
| 4.2 | 5.31 | 5.29 |
| 5.2 | 4.91 | 4.71 |
| 6.2 | 4.58 | 4.28 |
| 7.2 | 4.34 | 3.95 |
| 8.2 | 4.12 | 3.68 |
| 9.2 | 3.94 | 3.46 |

示す。側孔から管端の方へ腹がはみ出た量については側孔の大きさが色々であるから比較に便利のために、管長として吹口の下端から側孔の上端までの距離を取り之を修正された管長 l' とする。即ち l' は l から側孔の半径を引去った量である。側孔から腹がはみ出た量 q は気流の圧力により多少の変化があるがその平均値を取り、それに側孔の半径を加えた量 q' を求め、之が修正された腹がはみ出た量である。 q' を管の半径 1.5cm で除した量が補正係数 C である。次に側孔が比較的小さく、気流の圧力が比較的大きい場合は2倍音が出易く、2倍音についても同様な実験をした。

Table 2

$$l=23.5 \text{ cm, 音速 } v=346.9 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

| 孔径 | 12 mm | | | | 16 mm | | | | 20 mm | | | |
|-------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| 圧 力 (水柱) cm | 振動数 $\frac{1}{\text{sec}}$ | 波長 λ cm | $\frac{\lambda}{2}-l$ cm | 側孔から 食出た量 q cm | 振動数 $\frac{1}{\text{sec}}$ | 波長 λ q cm | $\frac{\lambda}{2}-l$ q cm | 側孔から 食出た量 q cm | 振動数 $\frac{1}{\text{sec}}$ | 波長 λ cm | $\frac{\lambda}{2}-l$ cm | 側孔から 食出た量 q cm |
| 3.2 | 504.5 | 68.76 | 10.88 | 4.99 | 520.6 | 66.63 | 9.82 | 3.93 | 538.7 | 64.39 | 8.70 | 2.81 |
| 4.2 | 520.6 | 66.63 | 9.82 | 4.51 | 535.6 | 64.77 | 8.89 | 3.58 | 552.5 | 62.78 | 7.89 | 2.58 |
| 5.2 | 525.0 | 66.07 | 9.54 | 4.63 | 543.0 | 63.88 | 8.44 | 3.53 | 559.0 | 62.05 | 7.53 | 2.62 |
| 6.2 | 531.3 | 65.29 | 9.15 | 4.57 | 546.0 | 63.53 | 8.27 | 3.69 | 563.7 | 61.54 | 7.27 | 2.69 |
| 7.2 | 535.6 | 64.77 | 8.89 | 4.55 | 550.7 | 62.99 | 8.00 | 3.66 | 565.5 | 61.34 | 7.17 | 2.83 |
| 8.2 | 537.2 | 64.57 | 8.79 | 4.67 | 554.2 | 62.59 | 7.80 | 3.68 | 569.0 | 60.96 | 6.98 | 2.86 |
| 9.2 | 540.2 | 64.21 | 8.61 | 4.67 | 555.7 | 62.42 | 7.71 | 3.77 | 572.0 | 60.64 | 6.82 | 2.88 |
| | | | 平 均 | 4.66 | | | 平 均 | 3.69 | | | 平均 | 2.75 |
| l 及 q の修正 | $l'=l-0.6=22.9$ $q'=q+0.6=5.26$ | | | | $l'=l-0.8=22.7$ $q'=q+0.8=4.49$ | | | | $l'=l-1.0=22.5$ $q'=q+1.0=3.75$ | | | |

Table 3

| 孔径 | 12 mm | | | 16 mm | | | 20 mm | | |
|--------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| 管長 l cm | l' cm | q' cm | 補正係数 C | l' cm | q' cm | 補正係数 C | l' cm | q' cm | 補正係数 C |
| 19.5 | 18.9 | 6.93 | 4.62 | 18.7 | 5.71 | 3.81 | 18.5 | 4.72 | 3.15 |
| 20.5 | 19.9 | 6.27 | 4.18 | 19.7 | 5.26 | 3.51 | 19.5 | 4.52 | 3.01 |
| 21.5 | 20.9 | 5.88 | 3.92 | 20.7 | 4.91 | 3.27 | 20.5 | 4.04 | 2.69 |
| 22.5 | 21.9 | 5.46 | 3.64 | 21.7 | 4.50 | 3.00 | 21.5 | 3.82 | 2.55 |
| 23.5 | 22.9 | 5.26 | 3.51 | 22.7 | 4.49 | 2.99 | 22.5 | 3.75 | 2.50 |
| 24.5 | 23.9 | 4.89 | 3.26 | 23.7 | 4.10 | 2.73 | 23.5 | 3.48 | 2.32 |
| 25.5 | 24.9 | 4.87 | 3.25 | 24.7 | 3.95 | 2.63 | 24.5 | 3.31 | 2.21 |
| 26.5 | 25.9 | 4.49 | 2.99 | 25.7 | 3.74 | 2.49 | 25.5 | 3.07 | 2.05 |

Table 4

| 孔径 mm | k | m |
|----------|-------|-------|
| 12 | 270.5 | 1.377 |
| 16 | 152.8 | 1.262 |
| 20 | 146.7 | 1.307 |

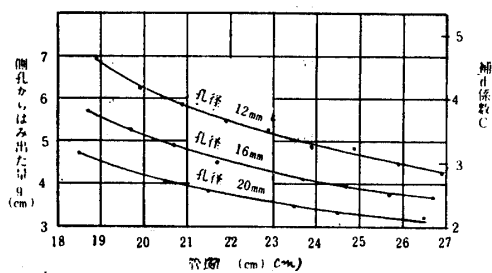


Fig 1

Ⅲ 実験結果及その考察

前記の方法で得られた結果の一例を Table 2 に示す。管長 l を種々に変えて得られた各実験結果に於て、修正された管長 l' 、及修正された側孔から腹がはみ出た量 q' を求め之を Table 3 に示す。Table 3 を図に示せば Fig. 1 の如くなる。此図から見て、同一の管長 l' に対して側孔の直径が大きい程側孔から腹がはみ出る量が小

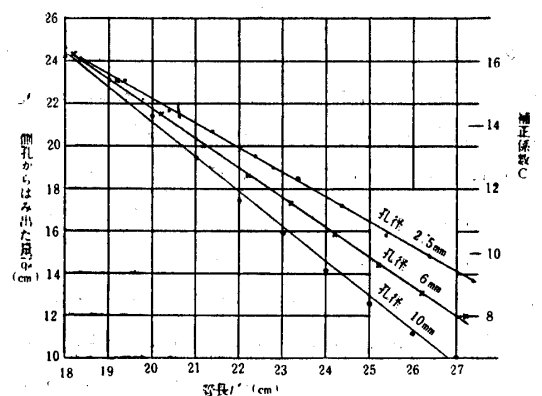


Fig 2

さく従って補正係数が小さく、又同一の側孔に対して l' が大きい程、側孔から腹がはみ出る量が小さくなり、従って補正係数が小さくなる。補正係数 C と管長 l' との間には $C = \frac{k}{l'm}$ の関係が成立する。但し k, m は或常数

Table 5

$$l=20.5 \text{ cm} \quad \text{音速 } v=349.3 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

| 孔径 | 2.5 mm | | | | 6 mm | | | | 10 mm | | | |
|------------------|--|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| 圧力 (水柱) cm | 振動数 1 sec | 波長 λ cm | $\lambda-l$ cm | 側孔から 食出た量 q cm | 振動数 1 sec | 波長 λ cm | $\lambda-l$ cm | 側孔から 食出た量 q cm | 振動数 1 sec | 波長 λ cm | $\lambda-l$ cm | 側孔から 食出た量 q cm |
| 6.2 | 750 | 46.6 | 26.1 | 21.82 | 757.2 | 46.1 | 25.6 | 21.32 | 760 | 46.0 | 22.5 | 21.22 |
| 7.2 | 760 | 46.0 | 25.5 | 21.55 | 765.0 | 45.7 | 25.2 | 21.25 | 770 | 45.4 | 24.9 | 20.95 |
| 8.2 | 765 | 45.7 | 25.2 | 21.52 | 770.0 | 45.4 | 24.9 | 21.22 | 775 | 45.1 | 24.6 | 20.92 |
| 9.2 | 770 | 45.4 | 24.9 | 21.44 | 772.5 | 45.2 | 24.7 | 21.24 | 782.5 | 44.6 | 24.1 | 20.64 |
| | | | 平均 | 21.58 | | | 平均 | 21.26 | | | 平均 | 20.93 |
| l 及 q の修正 | $l'=l-0.13=20.37$ $q'=q+0.13=21.71$ | | | | $l'=l-0.3=20.2$ $q'=q+0.3=21.56$ | | | | $l'=l-0.5=20.0$ $q'=q+0.5=21.43$ | | | |

Table 6

| 孔径 | 2.5 mm | | | 6 mm | | | 10 mm | | |
|--------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| 管長 l cm | l' cm | q' cm | 補正係数 C | l' cm | q' cm | 補正係数 C | l' cm | q' cm | 補正係数 C |
| 18.5 | 18.37 | 24.09 | 16.06 | 18.2 | 24.30 | 16.20 | 18.0 | 24.24 | 16.16 |
| 19.5 | 19.37 | 23.09 | 15.39 | 19.2 | 23.11 | 15.41 | 19.0 | 23.16 | 15.44 |
| 20.5 | 20.37 | 21.71 | 14.47 | 20.2 | 21.56 | 14.37 | 20.0 | 21.43 | 14.29 |
| 21.5 | 21.37 | 20.68 | 13.79 | 21.2 | 20.04 | 13.36 | 21.0 | 19.53 | 13.02 |
| 22.5 | 22.37 | 19.58 | 13.05 | 22.2 | 18.60 | 12.40 | 22.0 | 17.44 | 11.63 |
| 23.5 | 23.37 | 18.44 | 12.29 | 23.2 | 17.30 | 11.53 | 23.0 | 15.95 | 10.63 |
| 24.5 | 24.37 | 17.22 | 11.48 | 24.2 | 15.84 | 10.56 | 24.0 | 14.16 | 9.44 |
| 25.5 | 25.37 | 15.80 | 10.53 | 25.2 | 14.42 | 9.61 | 25.0 | 12.61 | 9.41 |
| 26.5 | 26.37 | 14.84 | 9.89 | 26.2 | 13.10 | 8.73 | 26.0 | 11.17 | 7.45 |
| 27.5 | 27.37 | 13.77 | 9.18 | 27.2 | 12.02 | 8.01 | 27.0 | 10.07 | 6.71 |

Table 7

| 孔径 mm | a | b |
|----------|------|------|
| 2.5 | 45.6 | 1.17 |
| 6 | 49.1 | 1.37 |
| 10 | 54.0 | 1.65 |

である。k, m の値を Table 4 に示す。

2倍音について管長を種々変えた場合の一例を Table 5 に示す。本実験に於て修正された管長 l' 、修正された側孔から管端の方へ腹がはみ出た量 q' 、及び補正係数の値を Table 6 に示し、之を図に描けば Fig. 2 の通りである。Fig. 2 を見れば補正係数は同一の管長に対しては側孔の大きいもの程小さくなる。又同一の側孔に対し補正係数と管長との関係は直線的である。即ち補正係数 C は管長 l' と $C=a-b'l'$ なる関係がある。但し a, b は常数でその値を Table 7 に示す。2倍音の場合

は側孔の直径が管の直径に比して比較的小さく管の全長 40.3 cm が音の発生に参与して居るものと思われる。何故ならば Fig. 2 に於て側孔の直径 2.5mm の場合側孔から管端の方へ腹がはみ出た量と管長とを加えたもの即ち $l'+q'$ が 41 cm 乃至 42 cm で管長より僅かに大きく、側孔の直径 6 mm の場合はその値が 39 cm 乃至 42 cm、又側孔の直径 10 mm の場合は 37 cm 乃至 41 cm で何れも管長に匹敵した値を示して居るからである。然るに原音の場合は側孔が2倍音を発生する場合よりも大きく、Fig.1 の管長 l' と側孔から管端の方へ腹がはみ出た量 q' を加えた値は管の全長よりはるかに小さいから原音の発生には管の全長は殆ど参与していないものと思われる。尚原音の場合吹口の外へ腹がはみ出た量及び側孔から管端の方へはみ出た量の一例を示せば Fig. 3 の通りである。

(1957年4月25日受理)

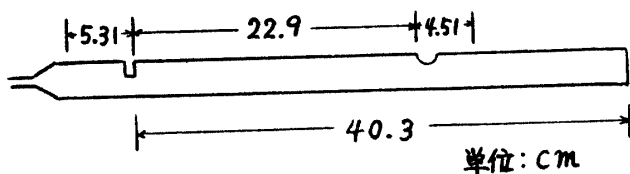


Fig. 3